

Э. Г. БРАТУТА, канд. техн. наук,
А. Р. ПЕРЕСЕЛКОВ, канд. техн. наук
Т. Б. ДУРНОВО-ПОДВАЛЬНАЯ

СОПОСТАВЛЕНИЕ ОДНО- И ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА КАПЕЛЬ ПО ДИАМЕТРУ

Как известно, для математического описания дисперсного состава частиц используют законы теории вероятностей и уравнения статистических кривых в виде так называемых дифференциальных и интегральных функций распределения числа, поверхности или объема (массы) капель по диаметру. При характеристике дисперсного состава капель применяют примерно восемь типов уравнений [1]. Многие из них взяты из практики анализа гранулометрического состава пыли и измельченных материалов, где такое большое число выражений объясняется, главным образом, разнообразием гранулометрического состава смесей зерен, полученных дроблением, измельчением или естественной дезынтеграцией под влиянием разных причин.

Предлагаемые различными авторами аналитические выражения функций распределения являются в основном результатом выравнивания эмпирических кривых распределения подбором уравнений. Выравнивание можно было бы производить принятыми при статических расчетах способами, однако это связано с трудоемкими вычислениями. Так, для кривой третьего типа необходимо найти центральные моменты второго и третьего порядков. Из-за многочисленности подлежащих обработке экспериментальных данных статистический путь подбора уравнений

не получил широкого применения. Были выдвинуты более простые выражения, допускающие графическое определение параметров.

Для характеристики дисперсного состава наиболее часто используют дифференциальные и интегральные функции распределения объема (массы) каплей по диаметру $v(D)$, $V(D)$. Это объясняется тем, что, применяя функцию $v(D)$ и зная объемный расход жидкости, который в данном случае играет роль нормирующего множителя, можно найти объем, число и поверхность капель, диаметры которых находятся в определенном интервале, либо всего спектра размеров капель, продуцируемых распылителем. Поэтому большинство исследователей производит сглаживание экспериментальных данных и подбор аналитических выражений именно для функций $v(D)$ и $V(D)$. Наибольшее распространение получили следующие виды уравнений:

уравнение Розина — Раммлера, согласно которому функции $v(D)$, $V(D)$ имеют вид

$$v(D) = nbD^{n-1} \exp(-bD^n); \quad (1)$$

$$V(D) = 1 - \exp(-bD^n); \quad (2)$$

уравнение нормального распределения

$$v(D) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(D - D_{\text{мел}})^2}{2\sigma^2}\right]; \quad (3)$$

$$V(D) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^D \exp\left[-\frac{(D - D_{\text{мел}})^2}{2\sigma^2}\right] dD; \quad (4)$$

уравнение логарифмически нормального распределения

$$v(D) = \frac{1}{\lg \sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\lg D - \lg D_{\text{мел}})^2}{2\lg^2 \sigma}\right]; \quad (5)$$

$$V(D) = \frac{1}{\lg \sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\lg D} \exp\left[-\frac{(\lg D - \lg D_{\text{мел}})^2}{2\lg^2 \sigma}\right] d(\lg D). \quad (6)$$

Однопараметрическое уравнение распределения, полученное в результате точного решения интегрального уравнения [2], описывающего частоту замыканий каплями концов двух электродов, при использовании счетно-импульсного метода имеет вид

$$v(D) = \frac{2\alpha^4}{3\pi} D^3 K_1(\alpha D); \quad (7)$$

$$V(D) = \frac{2\alpha^4}{3\pi} \int_0^D D^3 K_1(\alpha D d) D. \quad (8)$$

Отметим, что подобный путь получения значений $v(D_j)$ или аналитического выражения функции $v(D)$ из экспериментально определяемой зависимости некоторой физической величины (частоты замыканий [3], интенсивности рассеяния света под малыми углами [4], убыли веса пробы капель в процессе их испарения [5] и т. д.) характерен для всех косвенных методов измерения размеров капель. Таким образом, выражение (7) — это физически обоснованная зависимость, а не очередная формула, подобранная для аппроксимации опытных данных.

В работах [6, 7] предложенные аналитические выражения представляются универсальными и сделаны попытки теоретически обосновать тот или иной закон распределения капель по их размерам. Интересно сопоставить эти выражения между собой, а также с опытными данными, чтобы установить правомочность их применения. С этой целью использовались результаты, полученные нами при помощи метода улавливания капель в вязкую жидкость, а также данные других исследователей. Диапазон крупности распыливания (если ее характеризовать модальным диаметром капель D_m) изменялся от 0,05 до 0,8 мм.

Параметры уравнений (1) — (6) находили графическим путем, в результате аппроксимирования прямой линией экспериментальных значений $V(D)$, построенных в соответствующих функциональных шкалах. При использовании данных о дисперсном составе, которые получали не счетно-импульсным методом, параметр α в выражении (7) определяли методом моментов, т. е. из предполагаемого равенства первых начальных моментов, вычисленных для однопараметрической зависимости $v(D)$ (см. формулу (7), и на основании экспериментальных значений функции $v(D)$).

$$M_{1T}[D] = \int_0^{\infty} D v(D) dD = M_{1s}[D], \quad (9)$$

где $M_{1T}[D]$, $M_{1s}[D]$ — теоретический и экспериментальный первичные начальные моменты для зависимости $v(D)$.

Используя выражение (7), после замены $x = \alpha D$ запишем следующее значение для $M_{1T}[D]$:

$$M_{1T}[D] = \frac{2}{3\pi\alpha} \int_0^{\infty} x^4 K_1(x) dx = \frac{3,4}{\alpha},$$

откуда с учетом равенства (9) имеем

$$\alpha = \frac{3,4}{M_{1s}[D]}. \quad (10)$$

В работах [9, 10] оценивалась приемлемость разных зависимостей путем сравнения интегральных функций $V(D)$. Подобное

сравнение недостаточно убедительно, так как интегральные функции сами по себе мало чувствительны к виду описывающих их уравнений. Более наглядным является сравнение графиков дифференциальных функций $v(D)$, как это сделано для суспензий в [1]. Однако при этом также нельзя получить конкретную количественную оценку того, насколько подходит тот или иной закон для описания опытных данных.

В качестве критерия приемлемости вида уравнения для описания дисперсного состава капель нами принята величина относительной погрешности χ определения удельной поверхности капель, которая, в свою очередь, интегрально характеризует с количественной стороны эффективность участия распыленной жидкости в процессе теплообмена:

$$\chi = \frac{e - e_0}{e_0} \cdot 100\%. \quad (11)$$

Здесь e_0 — величина удельной поверхности, вычисленная по первичным экспериментальным данным; e — та же величина, соответствующая аппроксимирующей функции конкретного вида.

Таким образом, задача сводилась к аппроксимированию экспериментальных данных указанными уравнениями и вычислению функций $v(D)$, $V(D)$, на основании которых затем находили величину удельной поверхности e :

$$e = \frac{6}{\rho_{\text{ж}}} \int_0^{\infty} \frac{v(D)}{D} dD \approx \frac{6}{\rho} \sum \frac{\Delta V_j}{\bar{D}_j} \Delta D_j. \quad (12)$$

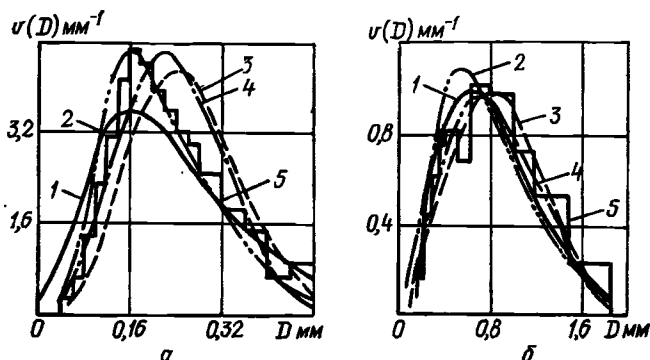
Установлено, что для нормального закона $\chi = -5 \div -10\%$, уравнения Розина — Рамлера — $1 \div 7\%$, логарифмически нормального закона — $10 \div 16\%$, однопараметрической функции — $6 \div 15\%$. Подобный разброс значений e обусловлен, по-видимому, погрешностями графического или численного определения параметров уравнений.

Отметим, что сравнение с опытными данными, полученными инерционным методом, осуществляется только с методологической целью, поскольку сами эти данные имеют отклонения из-за ограниченного объема выборки. Для практического использования их аппроксимирующим уравнением всегда целесообразно.

На рисунке показаны гистограммы и графические значения функции $v(D)$, вычисленные по нашим данным (а) и заимствованным из работы [8] — (б).

Рассматриваемые виды уравнений примерно равнозначны и могут успешно применяться для аппроксимации опытных данных. Предпочтение следует отдавать уравнению, для которого наиболее просто определяются его параметры и вычисляются величины, характеризующие дисперсный состав капель, а также

упрощается анализ изменения качества распыливания в зависимости от геометрических и режимных характеристик форсунок и под воздействием внешних причин (массообмен, столкновения капель и т. д.). Здесь несомненным преимуществом обладает зависимость (7), имеющая один параметр, для которой все про-



Сравнения уравнений для функции $v(D)$:
1 — однопараметрическая функция; 2 — логарифмически нормальный закон; 3 — нормальный закон; 4 — уравнения Розина — Раммлера; 5 — опытные данные.

изводные характеристики дисперсного состава капель также зависят от одного параметра. Благодаря этому можно рассчитать на ЭВМ значения функций при изменении параметра α с достаточно мелким шагом и в необходимом для практических целей диапазоне. Тем самым упрощается обработка экспериментальных данных при использовании счетно-импульсного метода [2, 11]: она сводится лишь к определению графическим путем одного параметра α .

С помощью отработанного в Харьковском политехническом институте счетно-импульсного метода [11] были проведены исследования дисперсной структуры газожидкостных потоков применительно ко многим объектам техники, в которых в качестве рабочего тела используется распыленная жидкость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распределение капель в эмульсиях, образующихся в смесителе ящичного экстрактора. — «Теорет. основы хим. технологии». Том IX. № 2. М., 1975, с. 193—202. Авт.: Н. И. Гельперин, В. Л. Пebaлк, Б. Г. Варфоломеев и др.
2. Братута Э. Г., Переселков А. Р. Расчет функции распределения капель по размерам при использовании счетно-импульсного метода. — «Инж.-физ. журн.», 1974, № 5, с. 923—924.
3. Wicks M., Dukler A. Proc. of the Third Internat Heat Transfer. Conf. N. — J., 1966, vol. V, p. 39—49.
4. Шифрин К. С. Рассеяние света в мутной среде. М., Гостехиздат, 1951. 115 с.

5. Лыков М. Н., Леончик Б. И. Распылительные сушилки. М., «Машиностроение», 1966. 331 с.
6. Блок А. Г., Базаров С. М., Нахман Ю. В. Некоторые общие закономерности формирования дисперсного состава капель при распыливании жидкости. — «Теплоэнергетика», 1967, № 7, с. 34—38.
7. Треш Х. Распыление жидкости. — «Вопр. ракетной техники», 1955, № 4, с. 108—128.
8. Коркин В. Д. Исследование процессов тепло-и массообмена в оросительных камерах кондиционирования воздуха при интенсифицированных режимах их работы. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1970. 23 с.
9. Mugele R., Evans H. — «Ind. Eng. Chem», 1951, vol. 43, № 6, p. 116.
10. Matsumoto Shiro, Takashimo Coichi. Bull. Hokuo. Inst. Technol, 1975 № 95, p. 95—111.
11. Братута Э. Г., Переселков А. Р. К вопросу о новом методе измерения размеров капель. — В кн.: Энергетическое машиностроение. Вып. 18. Харьков, 1974, с. 130—136.